

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Návrh a technologie výroby sacího potrubí MVE

Suggestion and Production Technology of the Small Water
Turbine's Suction Pipe

Student: Bc. Vladimír Přichystal
Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Sondel, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Vladimír Přichystal**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie

Specializace: 20 Strojírenská technologie

Téma: **Návrh a technologie výroby sacího potrubí MVE**
Suggestion and Production Technology of the Small Water Turbine's Suction Pipe

Zásady pro vypracování:

- 1) Zpracujte přehled ocelí a jejich aplikaci při návrhu sacího potrubí.
- 2) Proveďte analýzu stávající konstrukce sacího potrubí MVE.
- 3) Navrhněte novou geometrii sacího potrubí.
- 4) Navrhněte konstrukci a technologii výroby sacího potrubí.
- 5) Zpracujte technologický postup výroby sacího potrubí.
- 6) Ověřte vlastnosti svarových spojů sacího potrubí.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOUKAL, Jaroslav; SCHWARZ, Drahomír; HAJDÍK Jiří. *Materiály a jejich svařitelnost*. Vyd. 1. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o., VŠB-Technická Univerzita, 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
KOUKAL, Jaroslav; ZMYDLENÝ, Tomáš. *Svařování I*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2005. 136 s. ISBN 80-248-0870-6.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Sondel, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013




prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

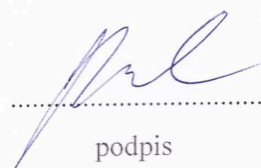
V Ostravě: 20. 5. 2013


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20. 5. 2013



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Vladimír Přichystal

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Havlíčková 262, Senice na Hané, 783 45

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

PŘICHYSTAL, V. *Návrh a technologie výroby sacího potrubí MVE: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2013, 55 s. Vedoucí práce: Ing. Martin Sondel, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem a technologií výroby sacího potrubí MVE. V úvodu jsou popsány typy sacích potrubí a seznámení se současným stavem řešení MVE. Práce dále pokračuje výběrem nejvhodnější geometrie sacího potrubí, návrhem materiálu, povrchové ochrany a výběrem svařovací technologie. Na konci práce jsou shrnuty cenové náklady na výroby sacího potrubí a zhodnocení s požadavky investora. Výkresová dokumentace je součástí diplomové práce.

ANNOTATION OF THE MASTER THESIS

PŘICHYSTAL, V. *Suggestion and Production Technology of the Small Water Turbine's Suction Pipe: Master Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2013, 55 p. Thesis head: Ing. Martin Sondel, Ph.D.

The master thesis deals with suggestions and production technology of the suction pipe of small hydroelectric powerplant. In the introduction are described types of suction pipes and the current situation of small hydroelectric powerplant. The thesis continues with selection of most suitable geometry of suction tube, selection of material, surface treatment and the selection of welding technology. At the end of thesis are summarized costs of production of suction pipe and evaluation with requirements of the investor. The blueprints are part of the thesis.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
Úvod.....	10
1. Vodní elektrárny	11
1.1 Rozdělení podle velikosti instalovaného výkonu.....	11
1.2 Rozdělení podle získaného spádu	11
1.3 Rozdělení podle získaného spádu	12
1.4 Rozdělení podle způsobu provozu	12
1.5 Schéma vodní elektrárny	12
2. Analýza MVE Mikulovice.....	14
3. Savka.....	17
3.1 Hydrostatický účinek savky	17
3.2 Hydrodynamická funkce savky	18
3.3 Rozdělení savek podle geometrie.....	20
3.3.1 Kuželová přímá savka	20
3.3.2 Kuželová kolenová savka	21
4. Geometrie savky	25
4.1 Vertikální segmentace geometrie.....	27
4.2 Horizontální segmentace geometrie.....	28
4.3 Výběr geometrie savky	29
5. Výběr materiálu	31
5.1 Kavitace.....	31
5.2 Výběr nelegované konstrukční oceli.....	33
6. Výběr svařovací technologie	35
6.1 Svařování konstrukčních ocelí	35
6.2 Výběr svařovací technologie.....	36
6.2.1 111 – MMAW – ruční svařování obalenou elektrodou.....	36

6.2.2	135 – MAG – Svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře.....	38
6.3	Výběr přídavného materiálu.....	40
6.4	Kontrola svaru.....	41
7.	Povrchová ochrana.....	42
7.1	Povrchová ochrana vnější části	42
7.2	Povrchová ochrana vnitřní části	43
7.3	Předúprava povrchu	43
8.	Technologie výroby	44
8.1	Výroba plechových dílců	44
8.2	Svařování plechů.....	47
8.3	Povrchová ochrana	49
9.	Finanční zhodnocení	49
10.	Závěr	51
11.	Seznam použité literatury.....	52
12.	Seznam příloh.....	55

Seznam použitých zkratk a symbolů

CEV – uhlíkový ekvivalent

ČSN – československá státní norma (později československá technická norma)

DIN – německá národní norma

E [lx] – intenzita osvětlení

H [m] – výška

I [A] – svařovací proud

I_{stat} [A] – předpokládaný instalovaný proud

MAG – Metal Active Gas (svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu)

MIG – Metal Inert Gas (svařování v ochranné atmosféře inertního plynu)

MMAW – Manual Metal Arc Welding (svařování obalenou elektrodou)

MVE – Malá vodní elektrárna

$Q [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ – průtok

P [W, VA] – výkon

R_e [MPa] – mez kluzu

R_m [MPa] – pevnost v tahu

Sa – čistota povrchu de ČSN ISO 8501

SME – Severomoravská energetika

U [V] – svařovací napětí

U_{stat} [V] – Instalované napětí

f [Hz] – frekvence

k – počet bodů dosažených u příslušného kritéria

$n \text{ [min}^{-1}\text{]}$ – otáčky

$r \text{ [mm]}$ – rádius

v – váha daného kritéria

$v_{\text{pos}} \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ – posuvová rychlost přídavného materiálu

Úvod

Úkolem této diplomové práce je najít vhodné řešení technologie výroby sací roury MVE Mikulovice. Diplomová práce by měla obsahovat možná řešení při návrhu konstrukčních řešení, jako jsou různé typy zpracování tvaru a výběr ideální možnosti. Dále by měla obsahovat výběr materiálu a technologii samotné výroby. Investor má požadavek, aby měla sávka co největší životnost a aby byly finanční náklady na výrobu do 80 000,- Kč.

1. Vodní elektrárny

Vodní elektrárna slouží k výrobě elektrické energie. Tu získává změnou potenciální energie padající nebo tekoucí vody. Jedná se o vodní dílo. Vodní elektrárny lze jednoduše rozdělit podle následujících hledisek. [1]

1.1 Rozdělení podle velikosti instalovaného výkonu

- Velké – s instalovaným výkonem nad 200 MW
- Střední – s instalovaným výkonem 10 MW – 200 MW
- Malé (MVE) – s instalovaným výkonem do 10 MW
 - Průmyslové – s instalovaným výkonem 1 MW – 10 MW
 - Minielektrárny - s instalovaným výkonem 100 kW – 1 MW
 - Mikroelektrárny - s instalovaným výkonem 35 kW – 100 kW
 - Domácí - s instalovaným výkonem do 35 kW

1.2 Rozdělení podle získaného spádu

- Přehradní – spád je tvořen přehradou
- Zdržové – spád je tvořen jezem
- Derivační – u toho typu je využito umělého vedení vody mimo vodní tok pomocí beztlakového nebo tlakového derivačního přivaděče
- Přehradní derivační – je tvořena kombinací předchozích typů
- Bez vzdouvací stavby a přečerpávací – s dolní a horní nádrží

1.3 Rozdělení podle získaného spádu

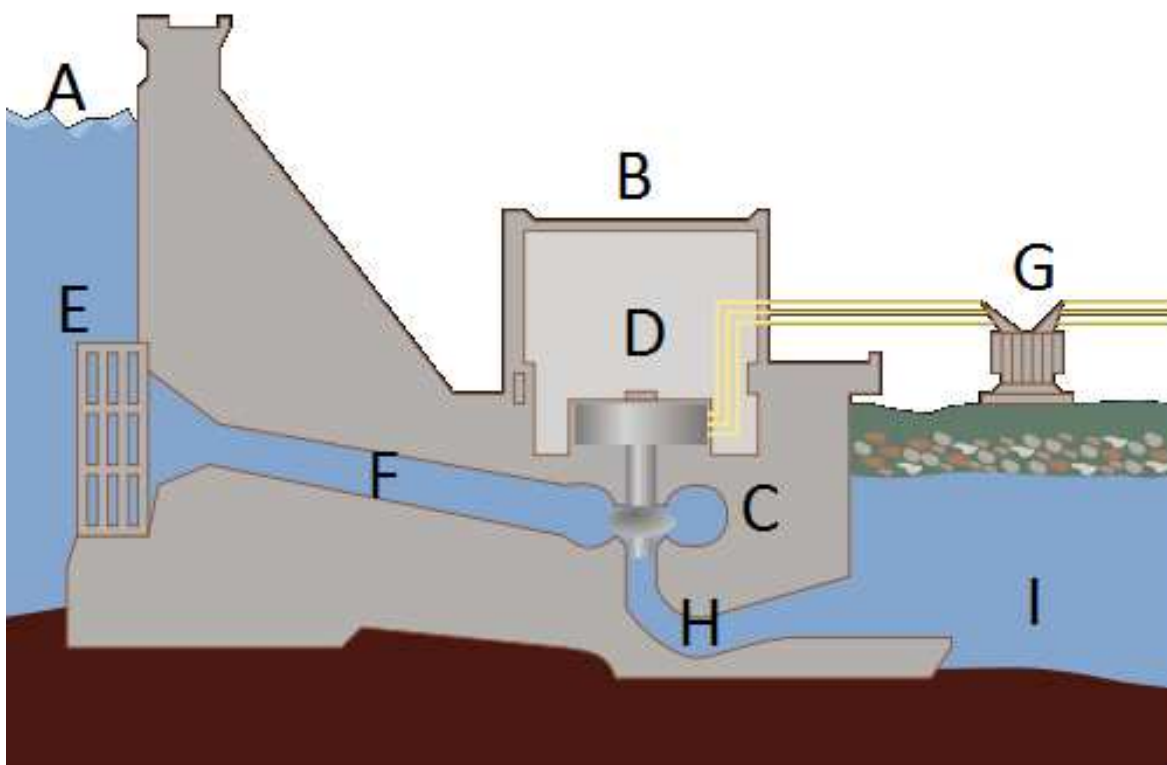
- Vysokotlaké – se spádem nad 100 m
- Středotlaké – se spádem mezi 20 m a 100 m
- Nízkotlaké – se spádem do 20 m

1.4 Rozdělení podle způsobu provozu

- Průtočné – výrazně neovlivňují průtok toku
- Akumulační – řízený odběr vody z akumulací nádrže vytvářející spád [2]

1.5 Schéma vodní elektrárny

Přehradní hráz bývá nejčastěji tvořena litým betonem, ale menší hráze bývají i sypané. Uvnitř hráze jsou umístěny chodby, které pomáhají s odvodem prosakující vody. Voda je k turbínám vedena ocelovým potrubím. Vstup vody do potrubí je chráněn česlemi, které chrání vstup před hrubými nečistotami vody. Rychlouzávěr uzavírá přívod vody v případě poruchy. Přívodním potrubím proudí voda k rozváděcímu kolu a turbíně, která má společnou osu s generátorem. Voda je odváděna sacím potrubím neboli savkou pryč z elektrárny do odtoku. Schéma vodní elektrárny je uvedeno na obrázku č.1



Obr. 1: Řez vodní elektrárnou [1]

Popis obrázku:

- A – Hladina přehradní nádrže
- B – Budova elektrárny
- C – Turbína, okolo ní rozváděcí kolo
- D – Generátor na společné ose s turbínou
- E – Česle a uzavěr
- F – Přívodní kanál
- G – Transformátor, napojení do rozvodné sítě
- H – Sací potrubí
- I – Odtok

2. Analýza MVE Mikulovice

MVE Mikulovice se nachází v okrese Šumperk na řece Bělé. Dříve objekt sloužil jako pila a to od roku cca 1914. Vodní dílo spravovala SME Ostrava, která v roce 1976 provoz malé vodní elektrárny ukončila. Důvodem ukončení provozu byl špatný stav budov elektrárny. Technologie byla demontována a převezena na jinou MVE. Budovu pily odkoupil od SME Ostrava Ing. Bronislav Suchý.

Odběr vody pro vodní elektrárnu zajišťuje pevný jez na řece Bělé. Pevný jez je na pravém břehu řeky opatřen šterkovou propustí, která je ohrazena stavidlem. Vedle propusti je vtok do náhonu opatřený hrubými česlemi a stavidly. Náhon k elektrárně je asi 500 m dlouhý a v celé délce je tvořen obdélníkovým korytem z kamene. Šířka náhonu je asi 5 m a hloubka kolem 1,5 m.

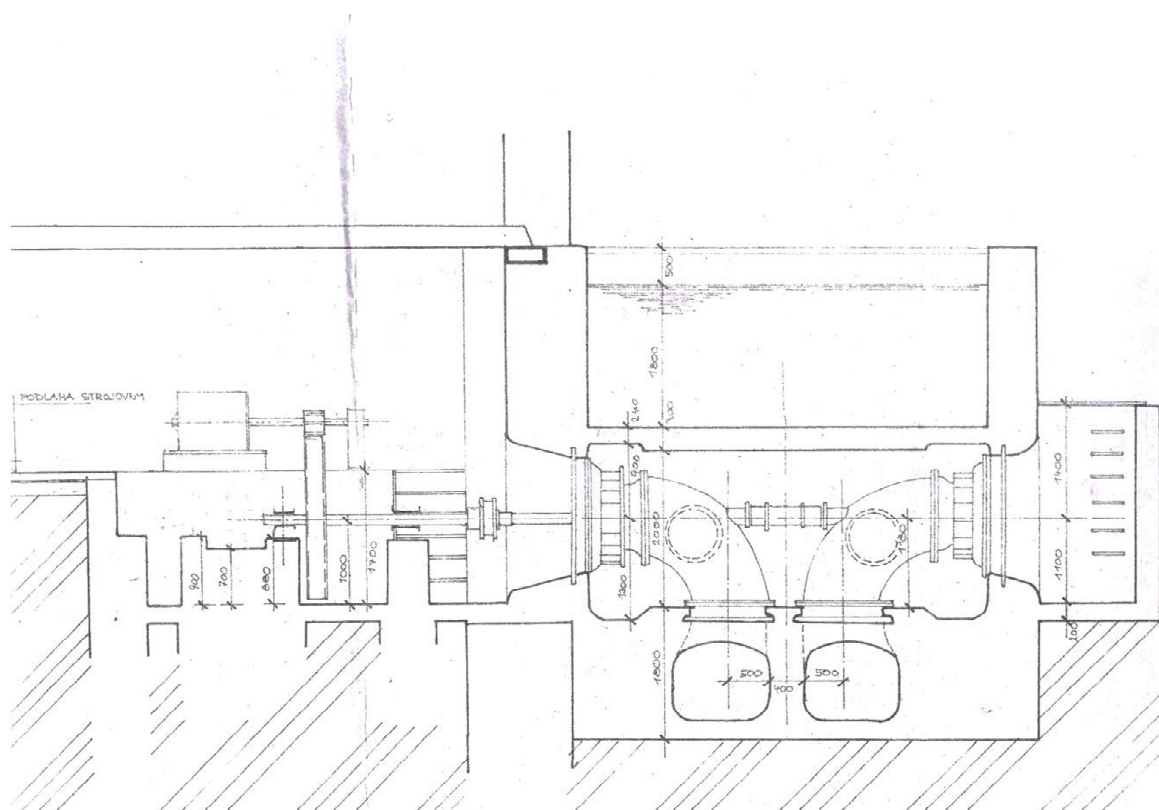
Objekt elektrárny je umístěn na pravém břehu řeky a sestává se z několika budov. Jsou to vesměs budovy bývalé pily. Vlastní turbína je v kašně za budovou. Kašna a savka je zanesená. Odpad elektrárny je asi 200 m dlouhé zemní koryto. Paty svahů jsou opevněny kamennou rovinou, zejména těsně pod výtokem z elektrárny. Odpad je zanesen. V tabulce č. 1 a 2 jsou uvedeny informace o turbíně a o generátoru. Náčrtek elektrárny je uveden na obrázku č.2.

Tabulka 1 – Údaje o turbíně

Typ	Francis dvojče	$H = 4,2 \text{ m}$
Rok výroby	1914	$Q = 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$
Výrobce	Hassman	$P = 110 \text{ kW}$
Hřídel	horizontální	$n = 175 \text{ min}^{-1}$

Tabulka 2 – Údaje o generátoru

Druh	Asynchronní	$P = 100 / 80 \text{ kW}$
Rok výroby	1962	$\cos = 0,8$
Výrobce	AEG	$U_{\text{stat}} = 400 \text{ V}$
Hřídel	Horizontální	$I_{\text{stat}} = -$
pohon	řemen	$n = 750 \text{ min}^{-1}$



Obr. 2: Nákres původního stavu elektrárny

I když byl původní stav celé elektrárny havarijní, Ing. Bronislav Suchý celou elektrárnu počátkem devadesátých let opět přivedl do provozu. Nejdůležitější části stavby opravil a docílil tak možnosti o zapojení zpět do odběrné sítě.

Přibližně před pěti lety se opět začaly projevovat závady zastaralé techniky, a proto byl Ing. Suchý donucen k uvažování o kompletní rekonstrukci celé malé vodní elektrárny a k tomu připadajících prvků.

Jako nejvhodnější řešení se mu z křivek překročení průtoků a trvání spádů jevílo použití zjednodušené Kaplanovy horizontální turbíny, která by byla umístěna v betonové kašně. Tato turbína má regulovatelný rozvaděč a oběžné lopatky jsou přestavitelné při odstavení soustrojí ručním mechanismem a lze tím dosáhnout maximálních (optimálních) podmínek provozu.

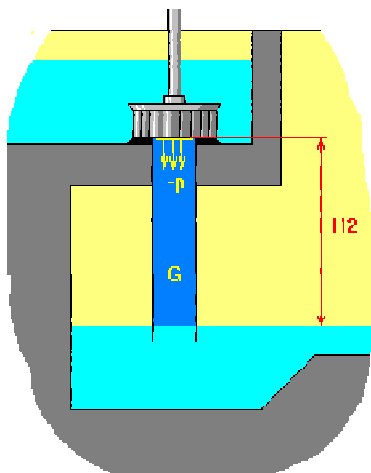
Současně je spolu s vybudováním (rekonstrukcí) strojovny nutné provést rekonstrukci hrubých česlí na vtoku do náhonu (hrazení náhonu, jemné česlice vč. čistícího stroje, hrazení vtoku na turbínu, hrazení jalového odpadu), prohloubení současného odpadu a zbudování výpustě.

3. Savka

Savka neboli také sací roura je pojem vyskytující se většinou v souvislosti s přetlakovými turbínami. U rovnotlakých turbín však většinou hovoříme o odpadním potrubí. Savkou se potrubí nazývá pouze tehdy, jeli za oběžným kolem podtlak vytvořený sloupцем vody. I když byl vynálezcem savky německý technik Henschel, k jejímu plnému využití došlo až u Francisovy turbíny. Díky savce bylo možné umístit turbínu téměř v jakékoliv libovolné výšce nad spodní hladinu (ovšem omezené kavitací). Díky tomu mohl být stroj více přizpůsobitelný potřebám provozovny v dané lokalitě. Často odpadly složité převody a částečně se eliminovalo nebezpečí zatopení strojovny. Toto byl jeden ze zásadních důvodů, který vedl k celosvětovému rozšíření Francisovy turbíny.

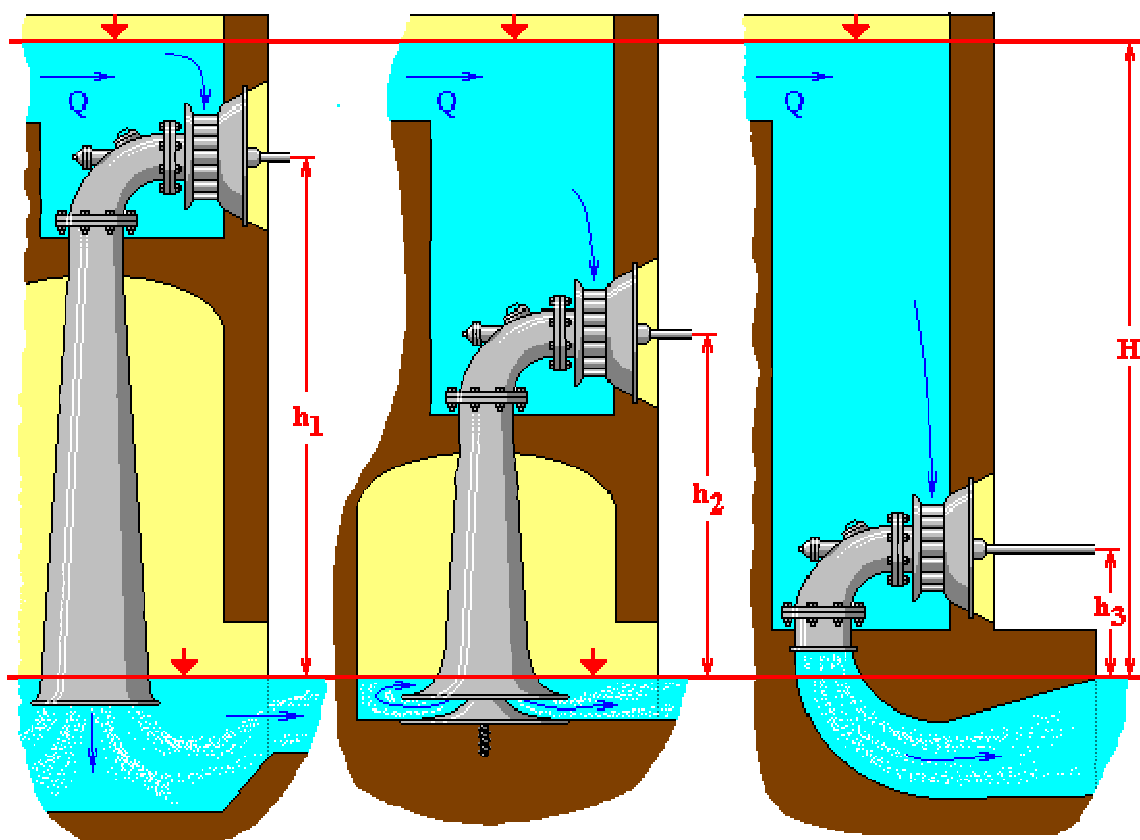
3.1 Hydrostatický účinek savky

Savka spojuje odtokovou stranu turbíny se spodní vodou. Jelikož je po prvním spuštění turbíny zcela vyplněna vodou, chová se v ní sloupec vody spojitě. I když je turbína zavřená, zůstával v ní viset. Turbína za provozu zpracovává přetlak nejen od horní hladiny po oběžné kolo, ale také podtlak vzniklý působením sloupce od oběžného kola ke spodní hladině. Působící podtlak je zobrazen na obrázku č. 3.[3]



Obr. 3: Podtlak působící na turbínu [3]

V praxi to znamená, že oběžné kolo nemusí být umístěno bezprostředně nad spodní hladinou jako u starších typů turbín a dokonce ani nemusí mít turbína svislý hřídel. Stroj tedy může být vodorovně a vodu je možné odvádět kolenem. Kolenová savka v minulosti umožnila téměř libovolnou stavební výšku při stejném spádu. Ukázky kolenových savek jsou vyobrazeny na obrázku č. 4.

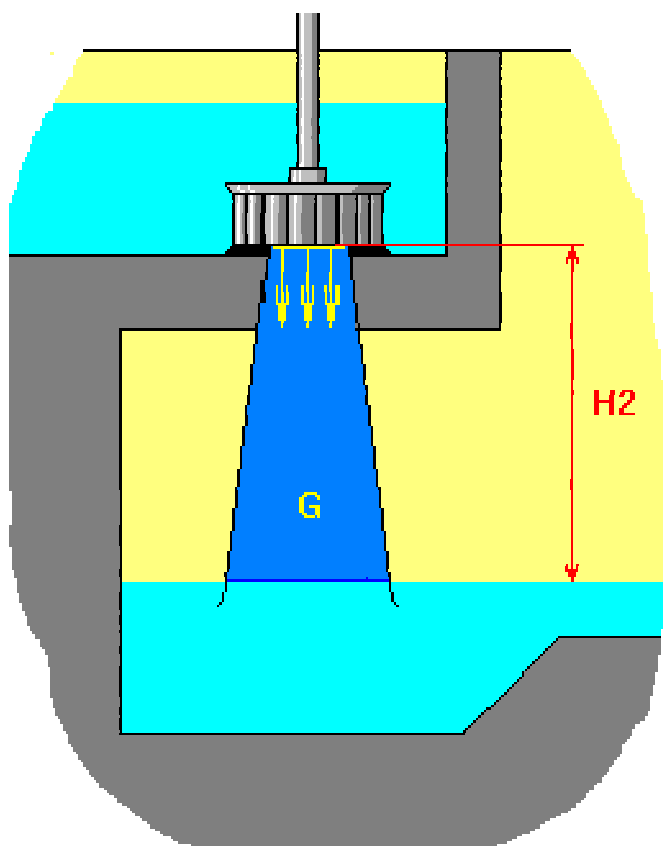


Obr. 4: Různé výšky hřídele nad vodou [3]

3.2 Hydrodynamická funkce savky

Zjednodušení stavebního řešení je však jen zlomek pokroku, který přineslo používání savky. Nejdůležitější funkce spočívá v tom, že je zužitkována energie vody, která by jinak bezúčelně unikala. Voda opouští oběžné kolo poměrně velkou rychlostí. Jelikož se již dostala mimo dosah lopatek, je její zbytková energie na první pohled

nevyužitelná. Pokud je za oběžným kolem využita rozšiřující se savka (jak je uvedeno na obrázku č. 5), je situace jiná. Odpadní voda, která proudí kuželem je nucena zaujímat čím dál tím širší průřez. V širším průřezu musí voda proudit pomaleji. Setrvačná síla ji však žene dál a voda se pak chová jako „píst“, který způsobuje to, že se za odtékající vodou vytváří podtlak, který je přenášen sloupcem vody zpět až na lopatky oběžného kola. Tento podtlak působí na turbínu stejně, jakoby byla spodní hladina níž, než ve skutečnosti je. Přeměna pohybové energie na tlakovou se v savce řídí Bernoulliho rovnicí. Účinnost této přeměny je u přímých savek 70 – 90 % a u kolenových savek 60 – 85%. [3]



Obr. 5: Rozšiřující se savka [3]

Za oběžným kolem je podtlak způsoben nejen tím, že je turbína umístěna v určité výšce nad spodní hladinou, ale pod tlakem, který vzniká zpomalením vody v rozšíření výtoku savky. Tyto podtlaky se sčítají. Při velkých výtokových rychlostech z oběžného kola (především u Kaplanovy turbíny) může být tento podtlak velký natolik, že může být jednou z příčin vzniku kavitace.

Čím větší je rychloběžnost turbíny, tím větší rychlostí opouští voda oběžné kolo. Pokud by za oběžným kolem nebyla umístěna savka, docházelo by tak k velkým ztrátám. To je jeden z důvodů, proč je u moderních přetlakových turbín savka naprosto nezbytnou součástí zaručující vyšší účinnost. Z toho je ale také patrné, že jakákoliv závada na savce, ať už je to koroze, netěsnost, deformace nebo špatná geometrie, má negativní dopad na práci turbíny. [3]

3.3 Rozdělení savek podle geometrie

Jak již bylo zmíněno výše, mají savky různé tvary geometrií. Tyto geometrie se mění podle tvaru průřezu a také podle změny směru proudnice. Tímto je myšlena změna směru proudění vody vlivem kolena.

3.3.1 Kuželová přímá savka

Nejrychlejší přeměnu vody na tlak dává kuželová přímá savka. Je proto velmi důležité, aby se příliš nerozšiřoval kónus a nedocházelo tak k odtrhávání kapaliny od stěn savky, potažmo oběžného kola. Uspořádané proudění v savce je omezeno na kužel o velikosti vrcholového úhlu $8^\circ - 13^\circ$. Při menších velikostech vrcholového úhlu je pro potřebný podtlak nutná větší délka samotné savky a docházelo by k zvýšení tření vody o prodloužené stěny. Tím by došlo ke snížení účinnosti savky. Mimo jiné je ze stavebních důvodů vhodnější menší délka savky. Pokud je však konstrukcí savky umožněn vstup vody s větší rotací, může mít kužel savky vrcholový úhel větší. To je umožněno díky odstředivé síle a snížení podtlaku na stěnách savky. Ukázka kuželové přímé savky je zobrazena na obrázku č. 6.[4]



Obr. 6: Kuželová přímá savka [5]

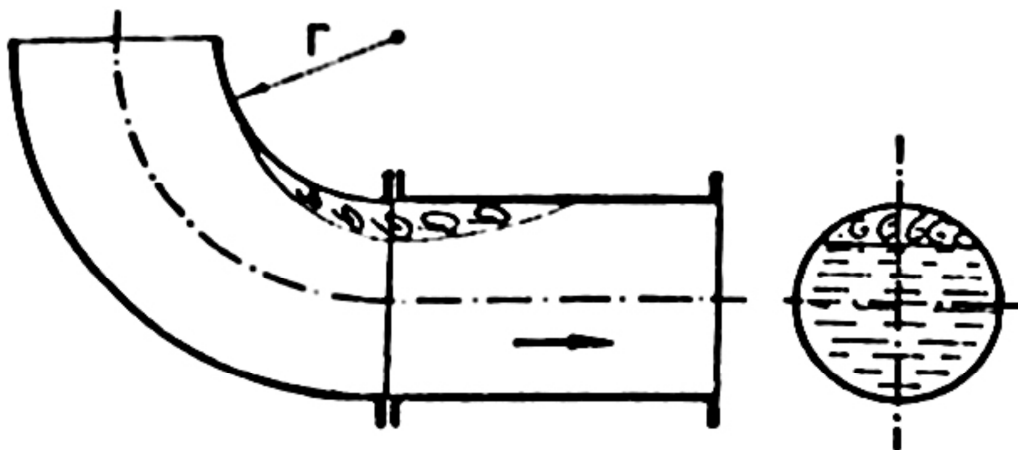
3.3.2 Kuželová kolenová savka

Ve výstupním průřezu savky by neměla být výstupní rychlost vody menší, než 1 m.s^{-1} , aby nedocházelo k hromadění vzduchu v savce. To vede u axiálních turbín, kde je vysoká vstupní rychlost vody do savky k nepřiměřeně dlouhé geometrii savky. U vertikálních rychloběžných turbín je proto nutné provést savku zahnutou, aby byla větší část její délky vodorovná. U horizontálních turbín se kolena musí užít téměř vždy. Ukázka kuželové kolenové savky je zobrazena na obrázku č. 7.



Obr. 7: Kuželová kolenová savka [6]

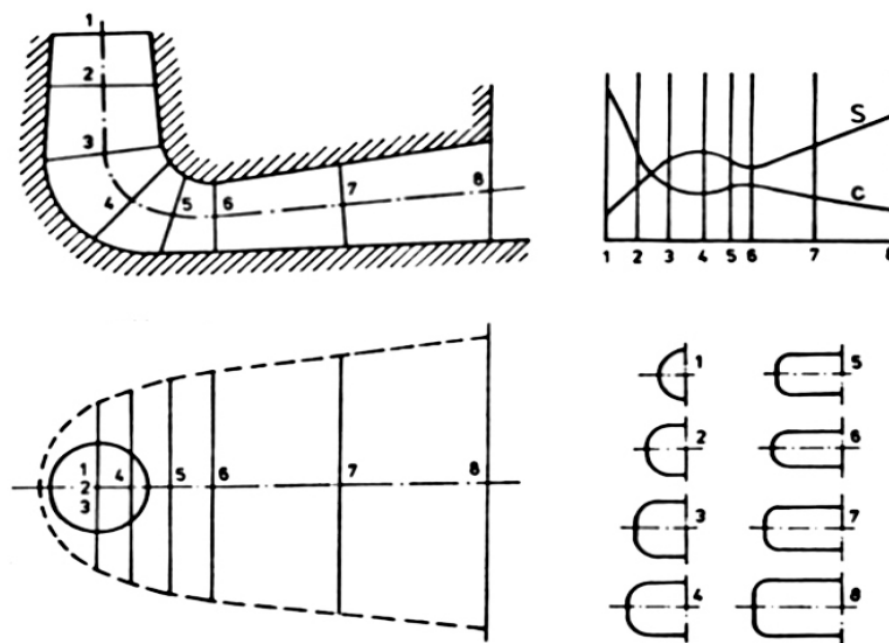
Vložení kolena je však vždy nepříznivé a to zejména proto, že se na vnitřní straně kolena savky tvoří víry (viz. obrázek č. 8), které pohlcují kinetickou energii vody. Čím je větší rychlost proudící vody, tím víc je vložení kolena nepříznivé. Často se proto před koleno umísťuje část kuželové trouby – difuzor. Bezprostřední napojení kuželu za kolenem je horší, než napojení přímého válcového dílu.



Obr. 8: Vírová oblast na vnitřní straně kolena [4]

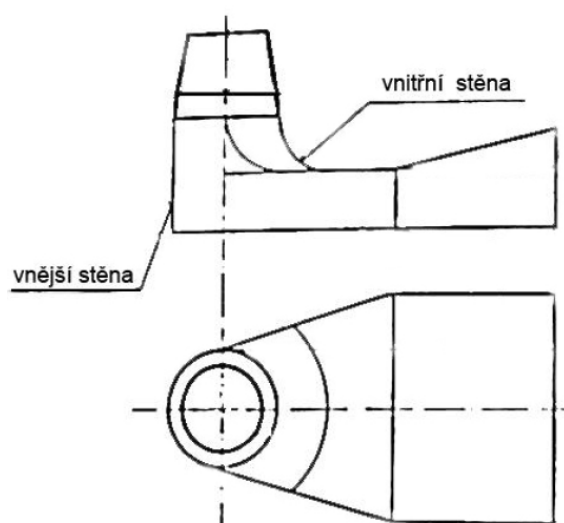
V koncové části se tvoří na straně menšího poloměru zakřivení kolena prostor, který vyplňují víry. Tento prostor poté zmenšuje průřez a víry pohlcují část kinetické energie proudící vody. Pokud se ihned za koleno napojí odtokový difuzor, vírová oblast se do něj rozšíří a tím se naruší jeho funkce. Pokud je však za koleno umístěn úsek s přímou troubou, proud vody má možnost přilnout ke stěně trouby a účinnost savky se tím zvýší. Difuzor by pak plnil svou funkci po napojení za přímou troubou.

Důležitou zásadou konstrukce savky je zabránění odtržení vody od stěny kolena. Toho je možné docílit zmenšením průřezů kolena ve výstupní části. Stěna vnitřního poloměru kolena by byla na hranici nerušeného proudění a vírů. Za touto změnou plochy by již následovalo zvětšování průtokové plochy savky. Aby zůstal výškový rozměr sací trouby malý, dochází ke změně průřezu na obdélníkový. Tvar je znázorněn na obr. 9. Průběh rychlosti vody je zde označen jako „c“ a plocha podél rozvinuté proudnice jako „s“.[4]



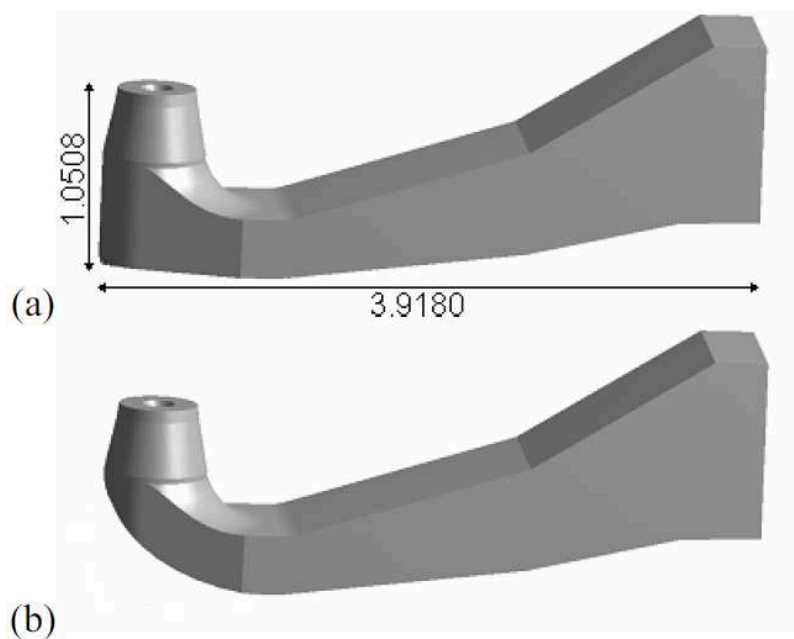
Obr. 9: Průřezy plochy savky [4]

U starších typů pravoúhlých savek se užíval tvar geometrie známý jako tzv. Kaplanova sací roura. U tohoto typu savky mění stěna svůj směr ostře v pravém úhlu. Tento typ sací roury se však v dnešní době používá pouze minimálně. Rohová část je totiž vyplněna vodním polštářem, který ale není zcela nehybný. Jeho pohyb totiž využívá část kinetické energie vody, a proto sací trouba ztrácí na účinnosti oproti sací troubě se zaobleným přechodem. Nákres pravoúhlé sací roury je uveden na obrázku č. 10.



Obr. 10: Pravoúhlá sací roura [4]

Modernější tvar savky je se zaobleným přechodem. Zaoblení přechodu u sací trouby má za následek navýšení účinnosti vzhledem k zachování tvaru difuzoru a zadní části sací roury. Velikost tohoto navýšení byla prokázána na vodní elektrárně Hölleforsen. Vodní elektrárna Hölleforsen se nachází na severu Švédska na povodí řeky Indalsälven. Ta pohání Kaplanovu turbínu o výkonu 148 MW. Rozdíl tvaru je vyobrazen na obrázku č. 11. [7]



Obr. 11: Savka elektrárny Hölleforsen: a) původní tvar b) upravený tvar [8]

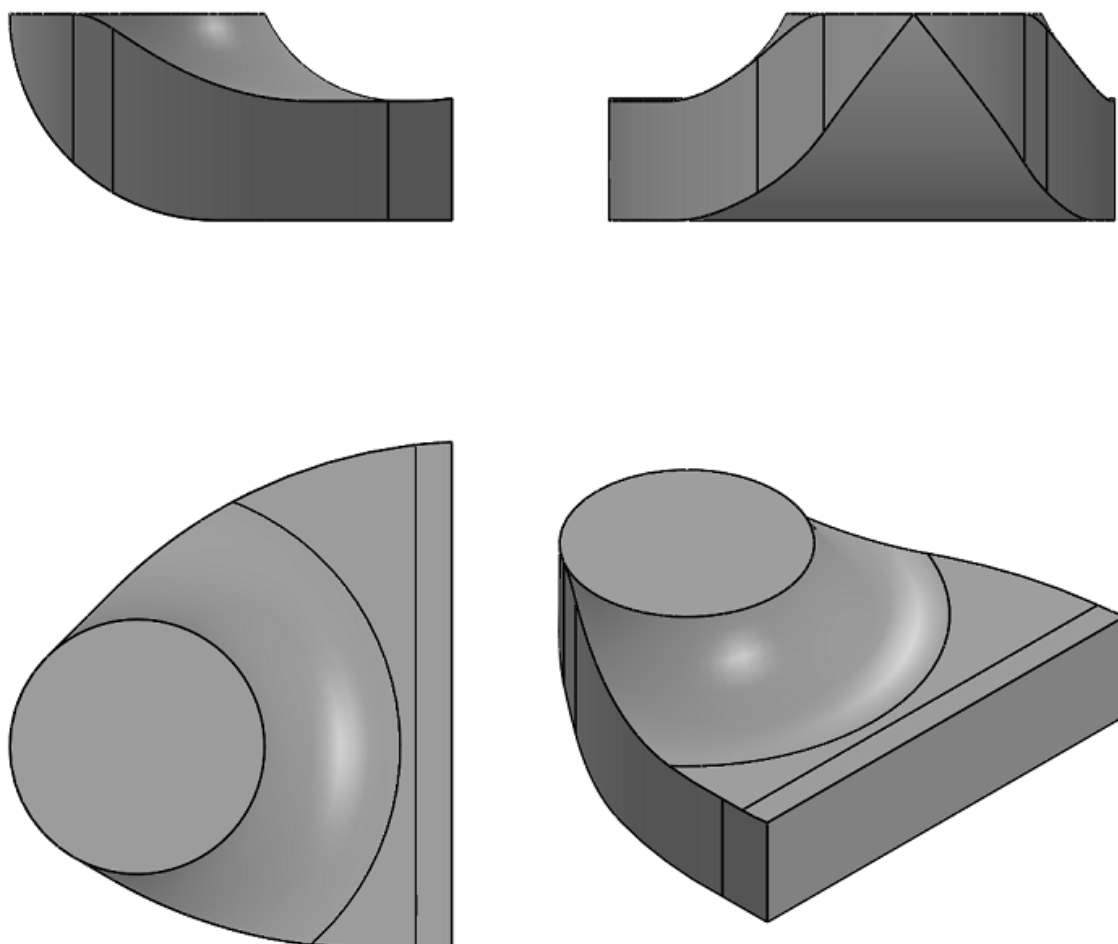
4. Geometrie savky

Původní elektrárna je vybavena dvojitou Francisovou turbínou a vodní výpušť je vyřešena za pomoci dvojité sací trouby. Jelikož je tvar těchto trub nevyhovující a navíc jsou odlity z betonu, musí být dle projektu vyrobeny savky nové a nejde stávající nijak upravit. Stav původních betonových trub je uveden na obrázku č. 12.



Obr. 12: Původní sací trouby

Ideální tvar nové savky byl dodán panem Ing. Bronislavem Suchým. Jedná se o kolenovou anuloidovou savku – viz obr. 13. Jelikož je tento tvar pouze geometricky ideálně navrženým tvarem, výroba přesných detailů, resp. vnitřního rádiusu sacího kolena by byla příliš nákladná. Proto se v praxi využívá rozdělení tvaru na jednotlivé segmenty. Výhodou těchto segmentů je, že jejich výroba je mnohem jednodušší a tudíž i méně finančně nákladná. Nevýhodou je ovšem to, že musí dojít k určité změně geometrie. Zvýšením počtu segmentů je možné zjemnit toto odstupňování do jisté míry tak vyladit přechody mezi jednotlivými segmenty. Proto se musí najít nejideálnější kompromis mezi počtem segmentů a změnou geometrie.

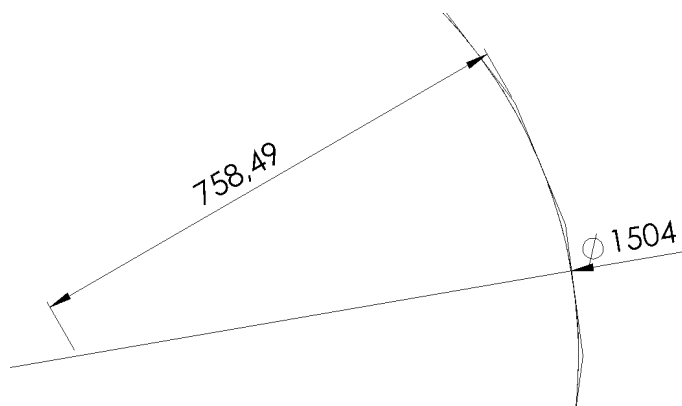


Obr. 13: Ideálně navržený tvar savky

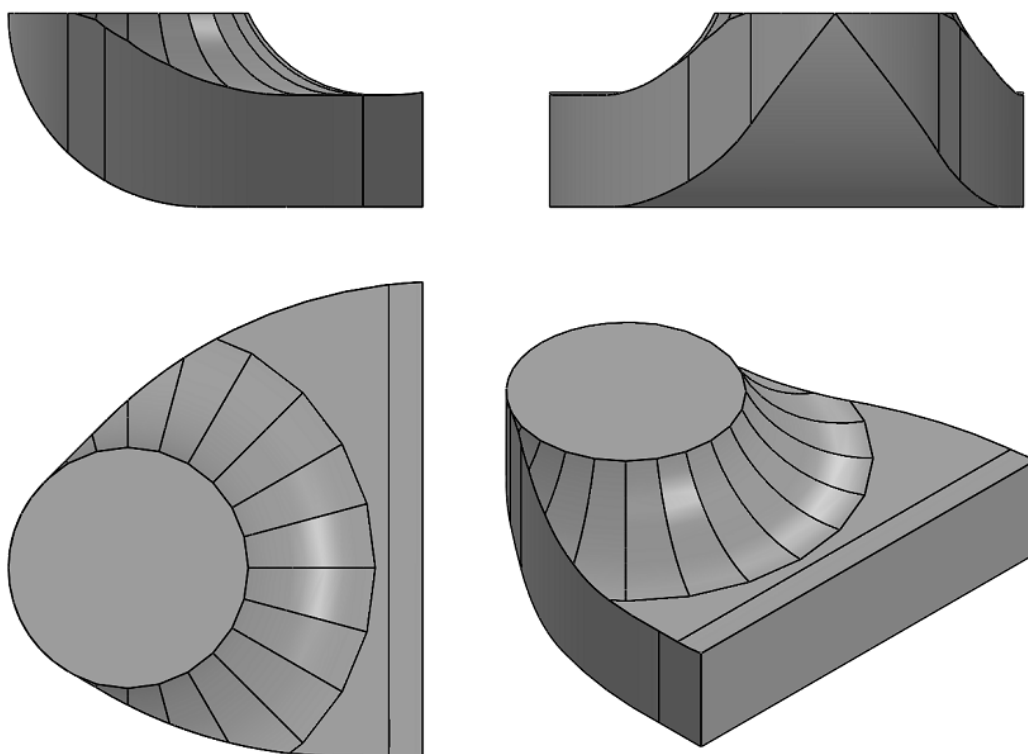
Po předchozím projednávání úpravy geometrie savky s investorem Ing. Bronislav Suchým jsme se dohodli na tvorbě dvou typů úprav. První typ úpravy bude řešen tak, že vnitřní tvar anuloidového radiusu bude segmentován ve vertikálních řezech. U druhého typu bude uvažováno o řezech horizontálních. U obou typů řezů musí být zachován základní ideální tvar a segmentace musí být provedena jako nábal. Tedy vnitřní hydraulický průměr musí být stejný a nesmí dojít ke zmenšení. Maximální dohodnutý rozdíl ve vzdálenosti oproti původnímu tvaru jsme s investorem stanovili do 10 mm. Tvar se poté vybere podle klíče, ve kterém bude rozhodovat objemový rozdíl s původním návrhem a cenová kalkulace na výrobu.

4.1 Vertikální segmentace geometrie

Pro vertikální segmentaci byl místo kruhu zvolen pravidelný 24 – úhelník, který je opsaný kružnici o stejném průměru, jako je průměr ve vtokové části. Největší úchylka vzdáleností oproti ideálnímu tvaru je v našem případě necelých 6,5 mm (viz obr. 14), což splňuje maximální dohodnutou úchylku 10 mm. Rádus zůstane stejný, jako u anuloidového tvaru – tedy $r = 879$ mm.



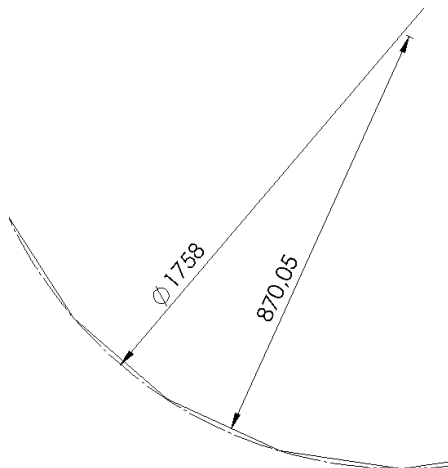
Obr. 14: Rozdíl vzdáleností u vertikální segmentace savky



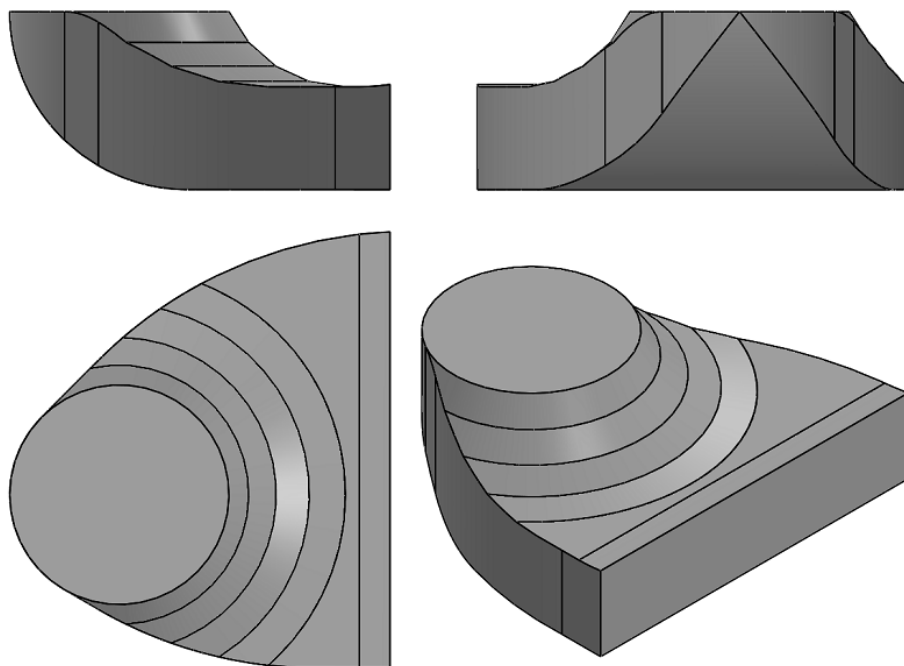
Obr. 15: Vertikálně segmentovaný tvar savky

4.2 Horizontální segmentace geometrie

Pro horizontální segmentaci geometrie byl zvolen pravidelný 22 – úhelník, který je vepsaný kružnici o průměru 1758 mm, tedy stejného průměru, jaký má anuloid ideálního tvaru (viz obr. 16). Tato segmentace kopíruje kružnici o průměru 1504 mm – vtoková část. Největší úchylka je necelých 9 mm. Geometrie tedy opět splňuje požadavek na maximální dohodnutou úchylku – 10 mm.



Obr. 16: Rozdíl vzdáleností u horizontální segmentace savky



Obr. 17: Horizontálně segmentovaný tvar savky

4.3 Výběr geometrie savky

Jak již bylo uvedeno na začátku kapitoly 4, tvar savky bude vybrán podle klíče, ve kterém bude kalkulován především tvar a poté i výrobní cena. Metodika výběru bude podle váhy, kde 60 % zastupuje objemový rozdíl savky oproti ideálnímu tvaru savky. Cenová kalkulace bude zastoupena dvěma položkami. Jelikož bude savka vyráběna z plechu, je důležitá nejen velikost plochy, ale také délka hran. Ta je totiž důležitá hlediska řezání plechu, ale také délky svarů. Váha těchto hodnot je zastoupena 20 %.

Výsledné bodové skóre výběru savky bude počítáno následovně:

$$Skóre = k_1 * v_1 + k_2 * v_2 + k_3 * v_3$$

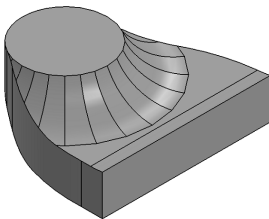
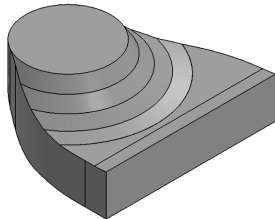
kde „k“ je počet bodů dosažených u příslušného kritéria a „v“ je váha daného kritéria. V našich případech se bude bodová hodnota počítat pouze pomocí minimalizačního číselně vyjádřitelného kritéria:

$$Bodová\ hodnota = 100 * nejnižší\ hodnota / hodnota\ kritéria$$

Jednotlivé položky, jako je objem, plocha a délka, lze počítat pomocí principu superpozice a deskriptivní geometrie nebo použitím cad softwaru. V našem případě jsem využil výpočtů programu Solidworks 2012.

Objem ideálního tvaru savky činí 5084956934 mm³. Objem vertikálně dělené savky je 5086271783 mm³ a objem horizontálně dělené savky je 5103088745 mm³. Pro přehlednost uvádím veškeré údaje v tabulce 3.

Tabulka 3 – Hodnocení kritérií savek

	Vertikálně segmentovaná savka	Horizontálně segmentovaná savka
		
Objemový rozdíl [mm ³]	1 314 849	18 131 811
Bodová hodnota	100	7,25
Hodnota * váha (60 %)	60	4,35
Plocha segmentové části [mm ²]	3046759	3040482
Bodová hodnota	99,79	100
Hodnota * váha (20 %)	19,96	20
Součet délky hran segmentových částí [mm]	20479	18718
Bodová hodnota	91,4	100
Hodnota * váha (20 %)	18,28	20
Celkové skóre	98,24	47,25

Z tabulky 3 lze jednoznačně určit, že vertikálně segmentovaná savka mnohem vyšší skóre, než horizontálně segmentovaná savka. Toho ovšem dosáhla jen díky vysoké váze (60 %) hodnoty nejmenšího rozdílu objemu oproti ideálnímu tvaru savky. Pokud by se zvýšil počet segmentů horizontálně segmentované savky, rozdíl objemů by se jednoznačně snížil. To by však bylo na úkor délky hran a tedy i svarů.

Dalším bodem, který hovoří pro výběr vertikálně segmentované savky, je cena výroby. U tohoto typu geometrie je 7 segmentů totožných, další dva jsou téměř stejné, jen mají upravené hrany. Mimo to je možné všechny výpalky tvářet na stejně nastaveném stroji, jelikož mají jak velké, tak malé kusy stejný poloměr zaoblení.

5. Výběr materiálu

Při výběru vhodného materiálu musíme stanovit základní stanoviska, kterými se budeme řídit. Vhodný materiál musí mít dobrou tvářitelnost, musí být dobře svařitelný a ideálně by měl být dostatečně odolný proti korozi a měl by mít dobrou ochranu proti kavitačnímu opotřebení. V neposlední řadě závisí volba materiálu také na jeho ceně. Jelikož je výroba savky přímo konzultována s investorem, byla jako nejvyšší priorita určena nalezení pokud možno co nejlevnější varianty. Z hlediska technologického návrhu se jeví jako nejvyšší priorita odolnost vůči možným problémům s kavitací.

5.1 Kavítace

Při obtékání pevných těles kapalinou vznikají při určitém stavu kapaliny (např. tlaku a teplotě) malé prostory, které jsou naplněny parami kapaliny nebo plynem, nebo parami i plynem. Podobný jev vzniká také ve stojící kapalině, v níž se pohybuje pevné těleso. Tento jev se nazývá kavítace. Ukázka vzniku kavítace je uvedena na obrázku č. 18. [9]



Obr. 18: Vznik kavítace na lopatkách lodního šroubu [10]

Nejúčinnější ochranou proti kavitačnímu opotřebení je vyloučení výskytu kavitace vhodnou konstrukcí. Jelikož byla geometrie savky předem dána, neměla by se kavitace vyskytovat. Protože však došlo k lehkým úpravám, musí se s možností vzniku počítat.

Kavitace bývá přímo spojována s korozním poškozením, protože i krátkodobé působení může značně podporovat korozivní poškozování materiálu. Nejvhodnější je používat korozivzdorné materiály. Jejich vysoká kavitační odolnost je ve skutečnosti dána především jejich korozní odolností. Na obrázku č. 19 je zobrazena ukázka kavitačního poškození lodního šroubu.



Obr. 19: Lodní šroub poškození vlivem kavitace [10]

V literatuře lze nalézt velké množství různých údajů o pořadí vhodnosti materiálů proti kavitaci. Všechny oceli, které bývají nejčastěji uváděny, jsou však austenitické. Po konzultaci s investorem byly tyto oceli zavrženy kvůli vysoké ceně. Požadavkem investora bylo nalezení nejlevnější možné varianty. Nejlepším dohodnutým řešením bylo nalezení vhodné nelegované konstrukční oceli a výběr povrchové úpravy vnitřní a vnější strany svařence.

5.2 Výběr nelegované konstrukční oceli

Při výběru vhodné konstrukční oceli jsem zvolil ocel S235JR. Je to neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti vhodná ke svařování. Je vhodná pro výrobu konstrukcí a strojů středních tloušťek tavně svařované, namáhané staticky i dynamicky. Součásti vyráběné z plechů podélně svařovaných dutých profilů a součásti kované pro tepelná energetická zařízení a tlakové nádoby pracující s omezeným přetlakem a teplotou do 300 °C. Vtokové objekty vodních turbín, spirální skříně vodních turbín, vrata plavidlových komor, klapky uzávěrů, svařované kulové uzávěry apod. Spojky a podvozky vagónů. Chemické složení oceli S235JR je uvedeno v tabulce č. 4. Mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce č. 5. [11]

Tabulka 4 – Chemické složení a vlastnosti oceli S235JR [12]

Přehled vlastností oceli S235JR								1.0038	
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel								
Dřívější označení	S235JRG2 podle EN 10025: 1990 + A1: 1993; RSt 37-2 DIN 17100; 11375 podle ČSN								
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn max.	Si max.	P max.	S max.	N max.	Cu max.
	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40	1,40	-	0,035	0,035	0,012	0,55
	0,17	0,17	0,20						
Složení hotového výrobku	0,19	0,19	0,23	1,50	-	0,45	0,45	0,14	0,55

Tabulka 5 – Mechanické vlastnosti oceli S235JR v podélném směru [12]

Minimální mez kluzu R _{eH} [MPa] pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:							
≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250
235	225	215	215	215	195	185	175
Pevnost v tahu R _m [MPa] pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:							
> 3 ≤ 100					> 100 ≤ 150		> 150 ≤ 250
360 – 510					350 – 500		340 – 490
Minimální tažnost v % (L ₀ = 5,65√S ₀) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:							
> 3 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250			
26	25	24	22	21			
Minimální nárazová práce KV [J] při 20 °C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:							
≤ 150				> 150 ≤ 250			
27				27			
Maximální hodnota CEV pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:							
≤ 30		> 30 ≤ 40		> 40 ≤ 150		> 150 ≤ 250	
0,35		0,35		0,38		0,40	

Tabulka 6 – Technologické vlastnosti oceli S235JR [13]

Svařitelnost	Vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti svaru. Je účelné dbát doporučení stanovující podmínky pro svařování, jak je ku příkladu uvádí ECS IC 2 (EN 1011).
Tváření za tepla	Jsou-li dodávané výrobky dále tvářeny za tepla, splňují uvedené mechanické vlastnosti pouze po následném normalizačním žíhání
Tvářitelnost za studena	Ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C (S235JRC). To se týká i tažení za studena.

6. Výběr svařovací technologie

Při výběru svařovací technologie je potřeba stanovit základní požadavky na výběr. Základní technologie vybereme podle možného použití, tedy podle svařitelnosti základního materiálu. Výběr bude dál pokračovat podle možností technologie, kterými disponuje výrobní společnost, a ty budou poté posouzeny.

6.1 Svařování konstrukčních ocelí

Svařitelnost vlastnost materiálu, která charakterizuje vhodnost kovu na zhotovení svarů při použití určitých technologických možností svařování a konstrukční spolehlivosti sváru. Přičemž technologickou možností svařování se rozumí zabezpečení svařovací metody, použití přídavného materiálu, teplotního příkonu, postupu kladní vrstev, teplotního režimu svařování tepelného zpracování svarového spoje. Konstrukční spolehlivostí se rozumí zabezpečení tloušťky materiálu, tvaru spoje, tvaru a úpravy svarových ploch, tuhosti spoje ve svaru, rozmístění svarů v závislosti na namáhání. [14]

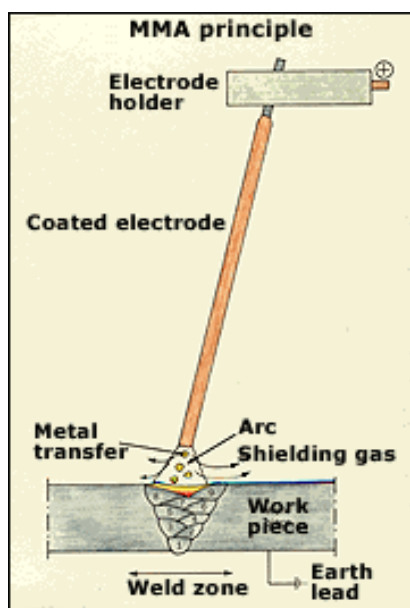
Pro svařování ocelových konstrukcí se nejčastěji používají oceli podle ČSN EN 10024-1 třídy S 235 až S 460. Ve svaru je vyžadována vysoká houževnatost, jako je tomu u samotné oceli. Svarový kov však z přídavných materiálů musí mít stejné hodnoty R_e a R_m , jako má základní materiál. Oceli do tloušťky 50 mm se svařují bez předehřevu a po svařování se tepelně nezpracovávají. Pro zvýšení požadované pevnosti se mohou volit kombinace konstrukčních ocelí a vysocepevných ocelí. Vhodná je např. kombinace pásnic a přírub z vysocepevných ocelí a méně zatěžované části konstrukce z oceli o nižší pevnosti. [15]

6.2 Výběr svařovací technologie

Výběr svařovací technologie je zohledněn na nejzákladnější a nejvíce vyhovující vybavení, kterým většinou disponuje každá zámečnická výroba. Jedná se o technologii 111 – tedy o svařování obalenou elektrodou MMAW a o technologii 135 – tedy o svařování pod ochrannou atmosférou MAG. Jako zástupce svařovacích zdrojů jsem vybral ty, kterými disponuje společnost, která bude savku vyrábět. Jsou to zdroje od společnosti Fronius.

6.2.1 111 – MMAW – ruční svařování obalenou elektrodou

Ruční svařování obalenou elektrodou je jedna z nejstarších svařovacích metod. Mezi koncem obalené kovové elektrody a svařencem vzniká oblouk. Roztavené kapky kovu se přenášejí z elektrody do svarového kovu a chrání je plyny, které vznikají rozkladem obalu. Roztavená struska je vyplavována na povrch svarové lázně a během tuhnutí ji chrání před přístupem okolní atmosféry. Strusku je pokaždé nutno odstranit. I když je tato metoda pomalejší, než např. metoda 135, je mnohem všestrannější a výhodou je i přístup k hůře dosažitelným místům. [16]



Obr. 20: Svařovací metoda 111 [16]

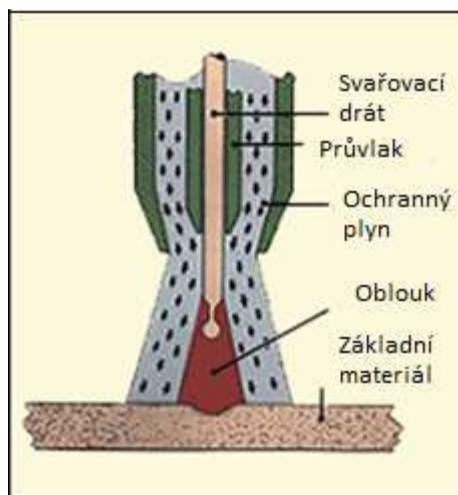
Jako zástupce této svařovací metody jsem vybral svařovací zdroj Fronius TransPocket 1500. Jedná se o menší svařovací zdroj schopný svařovat rutilovými, bazickými i celulóзовými elektrodami až do průměru 4 mm. Ostatní technické specifikace jsou uvedeny v tabulce 7. [17]

Tabulka 7 – Technické údaje svařovacího zdroje Fronius TransPocket 1500 [17]

Síťové napětí	230 V
Síťové jištění	16 A
Účinník	0,99 (140 A)
Účinnost	86,8% (80 A)
Rozsah svařovacího proudu WIG	10 - 150 A
Rozsah svařovacího proudu elektrody	10 - 140 A
Doba zapnutí při 10 min/40 °C (104° F)	25 % ED při 150 A
Doba zapnutí při 10 min/40 °C (104° F)	100 % ED při 80 A
Napětí naprázdno	92 V
Pracovní napětí WIG	10,4 - 16 V
Pracovní napětí elektrody	20,4 - 25,6 V
Krytí	IP 23
Chlazení	AF
Izolační třída	B
Rozměry: d x š x v mm	315/110/200
Rozměry d x š x v in.	12.40/4.33/7.87
Hmotnost kg	4,7
Hmotnost lb	10.36
Certifikace	CE
Certifikace bezpečnostní třídy	S

6.2.2 135 – MAG – Svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře

Při svařování metodou 135 dochází ke vzniku elektrického oblouku mezi tavící se elektrodou a základním materiálem nebo svarovou lázní. Svařovací drát se odvíjí z cívky a prochází bovdenen do svařovací hubice a průvlastu. Ochranný plyn proudí kolem svařovacího drátu a svarové lázně, kde nejen brání přístupu okolní atmosféry (jako u metody MIG), ale vstupuje také do chemické reakce ve svarové lázni. Jednou z výhod této metody je poloautomatický režim podávání svařovacího drátu. Omezí se tak technologické přestávky potřebné k výměně elektrod a využítí většího procenta přídavného materiálu oproti technologii 111. [18]



Obr. 21: Svařovací metoda 135 [19]

Jako zástupce této svařovací metody jsem vybral svařovací zdroj Fronius VarioStar 2500. Jedná se o vzduchem chlazený svařovací zdroj s 2kladkovým pohonem schopný svařovat proudem až 250 A. Tento zdroj je snadno ovladatelný a je vhodný jak pro svařování tenkých plechů, tak pro svařování větších ocelových konstrukcí. Ostatní technické specifikace jsou uvedeny v tabulce 8. [20]

Tabulka 8 – Technické údaje svařovacího zdroje Fronius VarioStar 2500 [20]

Síťové napětí	3 x 230 V
Síťové napětí	3 x 400 V
Tolerance síťového napětí	+ 10 % / 10 %
Frekvence sítě	50 / 60 Hz
Síťové jištění	16 A
Trvalý primární proud (100 %)	5,3 A
Trvalý primární výkon (kVA)	3,5 kVA
Účinník	0,95 (250 A)
Účinnost	75% (130 A)
Rozsah svařovacího proudu MIG/MAG	25 - 250 A
Doba zapnutí při 10 min/40 °C (104° F)	27 % ED při 250 A
Doba zapnutí při 10 min/40 °C (104° F)	100 % ED při 130 A
Doba zapnutí při 10 min/25 °C (77° F)	35 % ED při 250 A
Doba zapnutí při 10 min/25 °C (77° F)	100 % ED při 140 A
Napětí naprázdno	38 V
Pracovní napětí MIG/MAG	15,3 - 26,5 V
Krytí	IP 21
Rozměry: d x š x v mm	800/380/680
Rozměry d x š x v in.	31.5/15/26.8
Hmotnost kg	74
Hmotnost lb	163.2
Certifikace	CE
Certifikace bezpečnostní třídy	S

I když jsou svým výkonem vhodné oba zdroje. Jeví se z ekonomického hlediska zdroj VarioStar 2500 jako vhodnější. Jde především o to, že na svařenci jsou dlouhé svary, které jdou technologií MAG provést bez přerušení. Toho není u metody 111 možné dosáhnout kvůli nutné výměně elektrod. Další výhodou metody 135 je u toho typu svařence jednodušší přechod mezi svařovacími polohami a možnost svařovat ve všech polohách. Minimalizuje se tak nutnost manipulace se svařencem.

6.3 Výběr přídatného materiálu

Vhodný přídatný materiál pro svařování metodou 135 jsem volil od výrobce ESAB. Přídatný materiál by měl mít pokud možno co nejpodobnější chemické složení jako základní svařovaný materiál, ale také stejné nebo lepší mechanické vlastnosti. Jako nejvhodnější se jeví OK Autorod 12.51. Jedná se o poměděný drát určený pro ruční svařování, který je vhodný pro svařování nelegovaných konstrukčních ocelí s pevností do 530 MPa (splňuje) a jemnozrnných ocelí s minimální mezí kluzu 420 MPa (také splňuje) v ochranných atmosférách plynů Ar/20CO₂ nebo v čistém CO₂. Mechanické vlastnosti uvedené v tabulce 9 platí při použití směsi Ar/20CO₂. [21]

Tabulka 9 – Technické údaje svařovacího drátu OK Autorod 12.51 [21]

Klasifikace	Typické chemické složení čistého svarového kovu	Typické mechanické vlastnosti čistého svarového kovu
<u>SFA/AWS</u> <u>A5.18</u> ER70S-6 <u>EN ISO</u> <u>14341-A</u> G3Si1	C 0,1 Si 0,9 Mn 1,5 Chemické složení drátu	<u>Mez kluzu, MPa</u> 470 <u>Pevnost, MPa</u> 560 <u>Tažnost, A4 %</u> 26 <u>Tažnost, A5 %</u> 26 <u>Zkouška vrubové houževnatosti,</u> <u>V-vrub</u> Zkušební teplota, Nárazová °C práce, J +20 130 -20 90 -30 70

Průměr, mm	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6
Napětí na oblouku, V	15-20	18-24	18-26	18-32	18-34	22-36	28-38
Svařovací proud, A	30- 100	60- 200	70- 250	80- 300	120- 380	150- 420	225- 550
Rychlost podávání, m/min	5,5-13	3,2-13	3,0-12	2,7-15	2,5-15	2,3-12	2,3-12

6.4 Kontrola svaru

Jelikož je savka vyrobena z velmi dobře svařitelného materiálu, volím kontrolu svarových spojů nedestruktivní metodou a to dvěma základními metodami – metodou vizuální a metodou penetrační.

Při vizuální kontrole se zjišťují zjevné povrchové vady, jako je např. přílišná nerovnoměrnost, převýšení svaru, zápal, trhlinka, studený spoj a vada v kořenové oblasti. Kontrola bude prováděna pohledem nebo za pomoci lupy při zvětšení 3x – 6x . Základním předpokladem je pro rozlišení vad je dobrá zraková schopnost pracovníka a dostatečné osvětlení světlem o intenzitě minimálně 350 lx (minimální doporučené osvětlení je 500 lx).

Jako další typ nedestruktivní zkoušky bude použita zkouška penetrační metodou. Podstatou penetrační zkoušky je použití kapilárně aktivní kapaliny (kapalina s nízkým povrchovým napětím), která proniká do drobných mezer. Jakmile se odstraní přebytek kapaliny z povrchu zkoušeného svaru, kapalina za pomoci kapilárních sil vzlíná z drobných mezer do nanesené vývojky a vady se tak zviditelní. Ukázka penetrační metody je zobrazena na obrázku č. 22. [22]



Obr. 22: Penetrační metoda [23]

7. Povrchová ochrana

Povrchová ochrana sací roury je potřebná nejenom kvůli zvýšení životnosti z důvodu koroze, ale také kvůli ochraně konstrukční oceli z důvodu kavitačního poškození. Vzhledem k velikosti kolena savky se z důvodu nejnižší ceny jako nejlepší volba povrchové úpravy jeví nástřik / nátěr. Z důvodu, že funkční plocha je pouze vnitřní část savky a vnější bude pokryta betonem, budou nátěrové hmoty rozdílné.

7.1 Povrchová ochrana vnější části

Na vnější vrstvu je vhodné použití barvy, které má pouze antikorozní účinek a není na ni kladen větší nárok. Proto volím nátěrovou hmotu od společnosti Colorlak, a.s. – Synorex Primer S 2000. Jedná se o syntetickou základní barvu s vysokou antikorozní ochranou, která je určena na ochranu kovových předmětů pro venkovní i vnitřní použití. Je vhodná pod syntetické a epoxidové nátěrové hmoty nebo nitrocelulózové nátěrové hmoty. Výrobce udává jako přednosti této nátěrové hmoty vysokou antikorozní ochranu a rychlou dobu zasychání. Nanášet ji lze stříkáním, štětcem nebo válečkem při teplotě 15 – 25 °C a maximální relativní vlhkosti vzduchu do 75 %. Barva se nanáší na suchý, čistý, odmaštěný a rzi zbavený povrch. Optimální antikorozní vlastnosti jsou dosaženy při otryskání na Sa 2,5.

Pro nanášení této antikorozní nátěrové hmoty jsem zvolil nanášení stříkáním. Jelikož bude mít kompletní savka z vnější části ocelové výztuhy, bylo by nanášení válečkem, případně štětce velmi zdlouhavé a nátěrová hmota by nemusela být všude nanesena v dostatečné tloušťce. Ta činí při použití nízkotlakého stříkacího zařízení 40 – 80 µm. Ředění se provádí ředidlem S 6001. Místa, která jsou pro nános stříkáním problematická, se ošetří jako první pomocí štětce. Teprve po zavednutí tohoto nátěru se provádí ošetření celé plochy, vč. již ošetřených míst. [24]

7.2 Povrchová ochrana vnitřní části

Na vnitřní vrstevce vhodné použít barvu, která je dobrý antikorozní účinek, má vysokou přilnavost a je vhodná na potrubní systémy. Jako nejvhodnější byla doporučena nátěrová hmota od společnosti Belzona – Belzona 1341 Supermetalglide. Jedná se o dvousložkovou keramickou hmotu s velmi hladkým povrchem určenou pro ochranu vnitřních ploch čerpadel, armatur, proti erozi, korozi a kavitaci, přičemž zlepšuje průtokové parametry zařízení. Nátěrová hmota je povolena pro styk s pitnou vodou.

Ochranný nátěr se aplikuje štětcem nebo nástřikem v minimálně dvou vrstvách. Povrch musí být odmaštěn a očištěn od koroze a nečistot. Ideální příprava je broušením nebo tryskáním. Optimální tloušťka suché vrstvy se pohybuje kolem 250 µm. [25]

7.3 Předúprava povrchu

Jelikož bude savka svařování na dílně a poté přímo dopravena na místo montáže, je možné povrch ošetřit rovnou při výrobě. Svary a veškerá plocha musí být řádně očištěny od ocelových kuliček a svary vnitřní plochy musí být vybroušeny do hladka. Po broušení bude veškerá plocha odmaštěna a abrazivně otryskána na úroveň bílé slitiny Sa 2,5 (ISO 8501-1:2007) s profilem povrchu odpovídajícím Rugotestu č. 3, BN10a, Keane-Tator komparátor, 3,2 G/s nebo ISO komparátor, Rough Medium (G). [26]

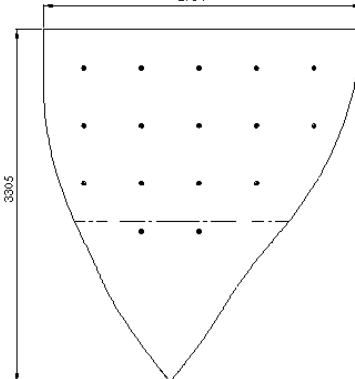
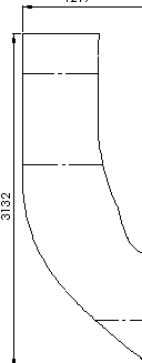
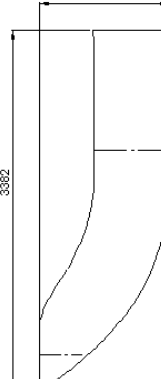
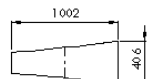
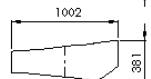
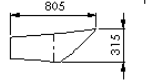
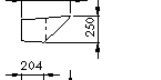
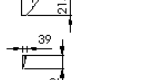
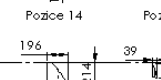
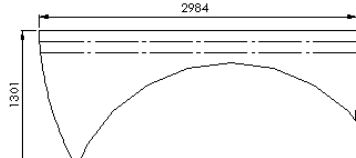
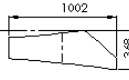
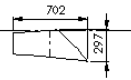
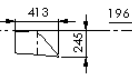
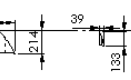


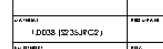
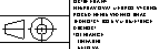


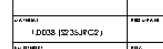
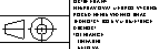


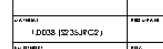
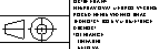

8. Technologie výroby

Technologický postup výroby lze rozdělit do několika samostatných částí. Jako první musí být vyrobeny polotovary (skružené plechy) a ty poté budou následně svařeny. Jako poslední část výroby je kontrola a povrchová úprava svařence.

8.1 Výroba plechových dílců

Jednotlivé plechové díly budou vyřezány z plechu o síle 6 mm. Nástřížné plány, podle kterých budou jednotlivé díly vyřezány, jsou rozvinuty pomocí programu SolidWorks 2012 (č.v. 20130515-11 a 20130515-12). I když by pro svaření plechů natupo bylo vhodné upravit hrany dílů do tvaru V, použijeme sváry typu I. To je z důvodu přechodu tupých svarů do svarů koutových. Hrany proto nebudou upraveny a jediná technologická úprava před skružováním bude odstranění okují. Samotné skružování bude provedeno dle výkresové dokumentace (č.v. 20130515-21 až 20130515-23). Technologický postup výroby je uveden v tabulce č. 10.

Tabulka 10 – Technologický postup řezání a skružování plechů

VŠB – TU OSTRAVA		Technologický postup: 2013-05-20-01		Celkem listů: 1																									
Vypracoval: Přichystal Vladimír		Číslo výkresu: 20130513-11		Patří do sestavy: 20130513-31																									
Datum: 20. 5. 2013																													
Název součásti: Výpalky dílů		Materiál: S235JR		Rozměr 1 kusu:																									
		Polotovár: Plech 6 mm		Rozměr pro 1 kusů																									
<div><div><div><div><div>Pozice 1</div><div>2984</div><div></div></div><div><div>Pozice 2</div><div>1219</div><div></div></div><div><div>Pozice 3</div><div>1219</div><div></div></div></div><div><div><div>Pozice 5 - 7 ks</div><div></div></div><div><div>Pozice 6</div><div></div></div><div><div>Pozice 7</div><div></div></div><div><div>Pozice 8</div><div></div></div><div><div>Pozice 9</div><div></div></div><div><div>Pozice 10</div><div></div></div></div><div><div><div>Pozice 4</div><div>2984</div><div></div></div><div><div>Pozice 11</div><div>1002</div><div></div></div><div><div>Pozice 12</div><div>702</div><div></div></div><div><div>Pozice 13</div><div>413</div><div></div></div><div><div>Pozice 14</div><div>196</div><div></div></div><div><div>Pozice 15</div><div>39</div><div></div></div></div><div>Výpalky z ocelového plechu síly 6 mm po přelíci o odstranění okraje</div></div><div><table><tr><td>PRACOVNÍ</td><td>Přichystal</td><td>PRACOVNÍ</td><td>Výpalky 01</td><td>PRACOVNÍ</td><td>20130513-11</td><td>PRACOVNÍ</td><td>1:25</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr><tr><td colspan="2">S. R. O.</td><td colspan="2">VŠB – TU OSTRAVA</td><td colspan="2">VŠB – TU OSTRAVA</td><td colspan="2">VŠB – TU OSTRAVA</td></tr></table></div></div>						PRACOVNÍ	Přichystal	PRACOVNÍ	Výpalky 01	PRACOVNÍ	20130513-11	PRACOVNÍ	1:25									S. R. O.		VŠB – TU OSTRAVA		VŠB – TU OSTRAVA		VŠB – TU OSTRAVA	
PRACOVNÍ	Přichystal	PRACOVNÍ	Výpalky 01	PRACOVNÍ	20130513-11	PRACOVNÍ	1:25																						
																													
S. R. O.		VŠB – TU OSTRAVA		VŠB – TU OSTRAVA		VŠB – TU OSTRAVA																							
Číslo operace	Pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo	Poznámka																									
1	2819	Řezat dle výkresové dokumentace	Nessap Kombi 1600																										
2		Odstranit okraje	Kladivo, majzlík																										
3	5001	Mezioperační kontrola	Svinovací metr																										
4	9421	Skružení dílů	Zakružovačka XZCZ 3000/10																										
5	5001	Mezioperační kontrola	Svinovací metr																										

Tabulka 11 – Technologický postup řezání výztuh

VŠB – TU OSTRAVA	Technologický postup: 2013-05-20-02	Celkem listů: 1
Vypracoval: Přichystal Vladimír	Číslo výkresu: 20130513-13	Patří do sestavy: 20130513-32
Datum: 20. 5. 2013		
Název součásti: Výpalky výztuh	Materiál: S235JR	Rozměr 1 kusu:
	Polotovary: Plech 6 mm	Rozměr pro 1 kusů

Pozice 17

Pozice 22

Pozice 27

Pozice 18

Pozice 23

Pozice 28

Pozice 19

Pozice 24

Pozice 29

Pozice 20

Pozice 25

Pozice 30

Pozice 21

Pozice 26

Pozice 2

Pozice 3

Pozice 4

Pozice 5

Pozice 6

Pozice 7

Pozice 8

Pozice 9

Pozice 10

Pozice 11

Pozice 12

Pozice 13

Pozice 14

Pozice 15

Pozice 16

Pozice 17

Pozice 18

Pozice 19

Pozice 20

Pozice 21

Pozice 22

Pozice 23

Pozice 24

Pozice 25

Pozice 26

Pozice 27

Pozice 28

Pozice 29

Pozice 30

Pozice 31

Pozice 32

Pozice 33

Pozice 34

Pozice 35

Pozice 36

Pozice 37

Pozice 38

Pozice 39

Pozice 40

Pozice 41

Pozice 42

Pozice

8.2 Svařování plechů

Plechové díly budou nejdříve nastehovány, aby dávaly výslednou formu, a teprve po nastehování výztuh ve formě ocelových pásů se mohou jednotlivé díly svařit. Postup stehování je následující:

Ocelová příruba (č.v. 20130515-12) se připevní ke svařovacímu stolu (ztužidly, upínkami, případně se k němu může nastehovat). K ní se pak nastehuje skružený díl č.v. 20130515-22 pozice 2 a poté na druhou stranu díl č.v.20130515-22 pozice 3. Oba díly jsou skruženy, ale jelikož nelze dosáhnout skružení na přesný tvar, musí se se tvarování napomáhat při samotném svařování. Část přivařená k přírubě bude mít stejný rádius, jako příruba (svářeč se musí držet příruby). Zbylá část se zatím ponechá volná. Při stehování je potřeba dávat důklad na vzdálenost spodní části od stolu a také na držení kolmosti. Jakmile jsou obě boční části nastehovány, začnou se spojovat skruženým dílem č.v. 20130515-21 pozice 1. Nyní je možné provést kontrolu základních rozměrů. Jako další se musí nastehovat díl č.v.20130515-11 pozice 4. Díky tomu bude možné ustavit celou šířku savky. Celkový tvar pak bude možné překontrolovat. Je nutné dbát na kolmost obdélníku výtokové části. Kontrola bude provedena měřením úhlopříčky. Jednotlivé vnitřní skružené díly č.v. 20130515-23 pozice 5 budou postupně vsazovány na svá místa tak, aby tvořily tvar anuloidu. Jako poslední budou nastehovány díly č.v. 20130515-23 pozice 6 až 15. Jelikož jsou tyto díly tvarově malé a v síle 6 mm nemusí být přesně skružené, je možné je lehce upravit.

Výztuhy budou nejprve stehovány na plechové díly od strany výtokového otvoru (obdélníková část). Díky tomu bude zaručena kolmost výtoku. Po nastehování všech částí může dojít k samotnému svařování plechových dílců. Díly budou svařovány podle č.v. 20130515-32 a pWPS č 01/2013 – 04/2013. Po svaření dílů musí být svary obroušeny kartáčem a z okolí svarů musí být odstraněny kuličky. Poté bude následovat vizuální kontrola svarů a penetrační zkouška vnitřní části savky. Pokud dojde ke zjištění vady, musí být tato odstraněna. Technologický postup svařování je uveden v tabulce 12. Podmínky svařování jsou uvedeny v pWPS č. 01/2013 – 04/2013, které jsou součástí přílohy. Při praktickém využití budou pWPS nahrazeny WPS.

Tabulka 12 – Technologický postup svařování savky

VŠB – TU OSTRAVA		Technologický postup: 2013-05-20-01	Celkem listů: 1
Vypracoval: Přichystal Vladimír		Číslo výkresu: 20130513-32 20130513-34	Patří do sestavy: 20130513-31
Datum: 20. 5. 2013			
Název součásti: Výpalky		Materiál: S235JR	Rozměr 1 kusu:
		Polotovar: Plech 6 mm	Rozměr pro 1 kusů
Číslo operace	Popis práce		Poznámka
1	Příprava		
1.1	Odmaštění, očištění a připravení svarových ploch ke svařování		Drátěný kartáč, odmašťovadlo
2	Svar č. 1		
2.1	Stehovat k přírubě, držet se vnitřní strany příruby. Přídavný mat. OKAutorod 12.51 Ø 1 mm, plyn M21		I=120-200A, v=0,2 m/min
3	Svar č. 2 a č. 3		
3.1	Ustavit díl (poz. 1) a postupně stehovat k bočním dílům (poz. 2 a 3). Přídavný mat. OKAutorod 12.51 Ø 1 mm, plyn M21		I=120-200A, v=0,2 m/min
3.2	Mezioperační kontrola rozměrů		
4	Svar č. 4 a č. 5		
4.1	Stehovat díl (poz. 4) k bočním dílům (poz. 2 a 3). Přídavný mat. OKAutorod 12.51 Ø 1 mm, plyn M21		I=120-200A, v=0,2 m/min
4.2	Mezioperační kontrola		
5	Svar č. 6		
5.1	Utavit díly (poz. 5 – 15) a postupně stehovat. Držet se vnitřní strany příruby. Přídavný mat. OKAutorod 12.51 Ø 1 mm, plyn M21		I=120-200A, v=0,2 m/min
6	Stehování výztuh		
6.1	Nastehovat výztuhy (poz. 17 -...) k sestavě savky. Přídavný mat. OKAutorod 12.51 Ø 1 mm, plyn M21		I=120-200A, v=0,2 m/min
6.2	Mezioperační kontrola rozměrů		
7	Svařování zbytků svarů		
7.1	Zavařit nastehované svary č.1 až č.6 z horní polohy. Přídavný mat. OKAutorod 12.51 Ø 1 mm, plyn M21		I=120-200A, v=0,2m/min
7.2	Zavařit výztuhy z horní polohy		
7.3	Mezioperační kontrola		
8	Otočit savku přírubou nahoru		
9	Svařování zbytků svarů		
9.1	Zavařit nastehované svary č.1 až č.6 z horní polohy. Přídavný mat. OKAutorod 12.51 Ø 1 mm, plyn M21		I=120-200A, v=0,2 m/min
9.2	Mezioperační kontrola		
10	Dokončovací operace		
10.1	Čištění svarů, odstranění kuliček		
10.2	Vizuální kontrola svarů		

8.3 Povrchová ochrana

Před nanášením povrchových ochranných nátěrů musí být savka dobře připravena na samotný nátěr. Povrch ploch musí být odmaštěn a zbaven nečistot. Svary ve vnitřní části vnitřního kolena (tvar anuloidu) musí být vybroušeny do hladka. Veškerá plocha poté bude tryskána na Sa 2,5. Jako první bude nanесena vrstva barvy na vnější část savky. Nejdříve se ošetří špatně přístupné plochy (koutové svary apod.) štětcem. Po zavadnutí těchto ploch se bude aplikovat nátěrová hmota ve dvou vrstvách nástřikem. Jako druhá bude nanесena vrstva barvy na vnitřní plochy savky. I zde se nejprve ošetří špatně přístupné plochy a poté se provede nástřik ve dvou vrstvách. Veškerý postup nanášení barvy se řídí podle postupu uvedeného výrobcem barev.

9. Finanční zhodnocení

Pro kompletnost samotné výroby je důležité také finanční zhodnocení celé výroby, které je možné udat jako model pro cenovou nabídku pro možnou příští výrobu. Celková cena výrobku se skládá ze dvou částí. První část je hodnota materiálu a druhá část je hodnota služeb – přidaná hodnota. Jelikož se savka současně s tvorbou této práce vyráběla, určení pracnosti je celkem přesné. Veškeré uvedené ceny jsou již konečnými cenami určenými pro zákazníka. Zisk pro výrobce je 20% z hodnoty materiálu a 50% z hodnoty uvedené práce. Cenu výroby této savky uvádím v tabulce č. 13.

Tabulka 13 – finanční zhodnocení výroby savky

Položka	Počet	Jednotka	Kč / jednotka	Cena
Materiál				
Plech 6 mm S235 JR	30	m ²	780	23400
Plech 20 mm S235 JR	2	m ²	2200	4400
Synorex Primer S2000	5	kg	230	1150
Belzona 1341	10	kg	520	5200
Materiál celkem				34150
Výroba				
Pálení	65	m	30	1950
Skružování	2	hod	500	1000
Sestavování + svařování	48	hod	200	9600
Broušení + čištění	12	hod	175	2100
Tryskání	20	m ²	50	1000
Nástřik	16	hod	200	3200
Pomocné práce	28	hod	150	2100
Výroba celkem				20950
Cena celkem				55100,- Kč

Kompletní cena výroby sací roury požadovaných rozměrů je dle kalkulace 55 100,- Kč. Jelikož může dojít k nepředpokládaným změnám, jako jsou vícepráce nebo změna v cenách materiálu, je doporučeno počítat s možným navýšením ceny o 10 %. Cena by potom byla 60 610 Kč. I s kalkulovaným navýšením splňuje cena maximální hodnotu požadovanou investorem.

10. Závěr

Úkolem této práce bylo vyřešit problematiku spojenou s výrobou sacího potrubí do MVE Mikulovice. V této diplomové práci se čtenář na začátku seznámí se základními pojmy spojenými s problematikou malých vodních elektráren, zejména s tématem sacích potrubí. V práci následuje specifikace výběru tvaru sací roury s odůvodněním výběru. Dále je opodstatněn výběr materiálu s možnými spojenými riziky. Následuje výběr svařovací technologie a celá výrobní dokumentace. Závěr této práce patří ekonomickému zhodnocení celé výroby sací roury předepsaných rozměrů.

Navržená sací trouba splňuje veškeré specifikace, které zadavatel požadoval – tedy vhodný tvar geometrie, životnost i pořizovací cenu.

11. Seznam použité literatury

- [1] Vodní elektrárna. *Wikipedia* [online]. 2013 [cit. 2013-03-14]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_elektr%C3%A1rna
- [2] Strojní struktura elektráren. "Bez WATTů lidstvo nepřežije" [online]. 2011 [cit. 2013-03-14]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_elektr%C3%A1rna
- [3] Savka turbíny. *Mve.energetika* [online]. 2012 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/savky-francis.htm>
- [4] MELICHAR, J. - VOJTEK, J. - BLÁHA, J. Malé vodní turbíny (Konstrukce a provoz). Praha, Vydavatelství ČVUT, 1998. 229 s.
- [5] Draft Tubes. *French River Land Company's Home Page!* [online]. 2012 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://www.frenchriverland.com/draft_tubes.htm
- [6] Fabrication Equipment. *J.P. Marshall Engineering* [online]. 2005 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.jpmarshall.co.nz/page/49-public-area+facilities-and-equipment+steel-fabrication-workshop+fabrication-equipment>
- [7] Hölleforsen. *Vattenfall's Power Plants* [online]. 2010 [cit. 2013-04-01]. Dostupné z: <http://powerplants.vattenfall.com/node/386>
- [8] MARJAVAARA, Daniel. *CFD Driven Optimization of Hydraulic Turbine Draft Tubes using Surrogate Models*. Luleå, 2006. DOCTORAL THESIS. Luleå University of Technology.
- [9] NOSKIEVIČ, Jaromír. *Kavitace v hydraulických strojích a zařízeních*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1990, 333 s. ISBN 80-030-0206-0.
- [10] Kavitace. *Wikipedia* [online]. 2013 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kavitace>
- [11] Jakosti ocelí. *Feromat* [online]. 2010 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: http://www.feromat.cz/jakosti_oceli
- [12] Označování materiálů podle evropských norem. *ZCU* [online]. 2013 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/evropske_normy.pdf

- [13] Přehled vlastností oceli S235JR. *Bohdan Bolzano* [online]. 2013 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10025/S235JRG2/>
- [14] ČSN 05 1309 – Zvaritelnost kovů a její hodnocení-všeobecné ustanovení.
- [15] FOLDYNA, Václav. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 1999, 296 s. Svařování. ISBN 80-857-7163-2.
- [16] Ruční obloukové svařování. *ESAB* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/cz/cz/education/processes-mma-smaw.cfm>
- [17] Obloukové svařování. *Fronius Česká republika, s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-42B6881D-AA381105/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_1493.htm
- [18] Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou. *Wikipedia* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_v_ochrann%C3%A9_atmosf%C3%A9r%C3%A9_tav%C3%ADc%C3%AD_se_elektrodou
- [19] Svařování v ochranné atmosféře plynů. *ESAB* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/cz/cz/education/processes-mig-gmaw.cfm>
- [20] MIG/MAG. *Fronius Česká republika, s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-7F1153A3-0A3A69AA/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_1444.htm
- [21] OK Autrod 12.51. *ESAB* [online]. 2013 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://products.esab.com/Templates/T041.asp?id=72704>
- [22] KOUKAL, Jaroslav; ZMYDLENÝ, Tomáš. *Svařování I*. 1. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. 136 s. ISBN 978-80-248-0870-3
- [23] Valley Industrial X-Ray. *VXRay* [online]. 2013 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: http://www.vxray.com/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=35&Itemid=56
- [24] SYNOREX PRIMER S 2000. *Colorlak* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.colorlak.cz/s2000>

[25] Product Data. *Belzona* [online]. 2013 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z:
http://www.belzona.com/assets/data/product_information/pfs/UK/1341.pdf

[26] *Roughness - Senze-Instruments*: [online]. 2012 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z:
<http://www.senze-instruments.com/roughness-.html>

12.Seznam příloh

Příloha č. 1 – pWPS č. 01/2013

Příloha č. 2 – pWPS č. 02/2013

Příloha č. 3 – pWPS č. 03/2013

Příloha č. 4 – pWPS č. 04/2013

Příloha č. 5 – výkres č. 20130515-11 – výkres výpalků savky

Příloha č. 6 – výkres č. 20130515-12 – výkres výpalků výztuh

Příloha č. 7 – výkres č. 20130515-21 – výkres skružování plechu

Příloha č. 8 – výkres č. 20130515-22 – výkres skružování plechu

Příloha č. 9 – výkres č. 20130515-23 – výkres skružování plechu

Příloha č. 10 – výkres č. 20130515-31 – výkres sestavy savky

Příloha č. 11 – výkres č. 20130515-32 – výkres svařování sestavy savky

Příloha č. 12 – výkres č. 20130515-33 – výkres sestavy výztuh savky

Příloha č. 13 – výkres č. 20130515-34 – výkres svařování výztuh savky

Příloha č. 14 – výkres č. 20130515-35 – výkres savky vč. výztuh